جامعة دمشق – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم هندسة الميكانيك العام – قسم هندسة التصميم الميكانيكي والإنتاج
المادة: مقدمة في الهندسة المدنية

ميكانيك التربة

المحاضرة -11-

إعداد:
أ.د جندب محمد زعرور

1. مقدمه :

يعنى هذا الاختصاص بتأهيل المهندس ليصبح قادراً على دراسة أنواع التربة ومواصفاتها وخصائصها، وإعداد التقرير الكامل حول إمكانية تنفيذ المشروع والشروط المطلوبة للتنفيذ واقتراح الحلول الخاصة بالتأسيس عند الحاجة إلى ذلك، يتضمن ميكانيك التربة: دراسة وتحليل سلوك التربة وإجراء التجارب اللازمة للحصول على خواص مختلف الترب الفيزيائية والميكانيكية وحساب أهم المعطيات اللازمة للتصميم مثل قدرة تحمل التربة.

تعتبر تحريات التربة متطلباً رئيسياً تسبق أعمال الدراسة والتصميم للمشاريع الهندسية وتهدف إلى جمع المعلومات اللازمة لدراسة المشاريع وتتضمن : إجراء سبور, استخراج عينات, إجراء تجارب حقلية ومخبرية على العينات, إعداد التقرير الفني.

2. الغاية من أعمال استكشاف التربة

1. تقييم مدى ملائمة الموقع للمشروع المقترح.
2. تحديد عمق ونوع أساسات المشروع بما يتناسب مع خصائص التربة وحجم المشروع.
3. قدرة تحمل التربة .
4. الهبوط المتوقع.
5. الأضرار المحتملة للمنشآت المجاورة للمشروع والناجمة عن أعمال الحفريات.
6. منسوب المياه الجوفية ومدى تأثيرها على المشروع.
7. عمق ونوع الطبقة الصخرية عند استكشافها أثناء التحريات.

8. المشاكل البيئية المحتملة.
9. اختيار مواد التشييد المناسبة للمشروع.

3. برنامج أعمال استكشاف التربة

يمر البرنامج بأربع مراحل رئيسية :

3-1 : مرحلة جمع المعلومات المتوفرة وتعني :

- جمع كل ما يتعلق بالمنشآت المجاورة لمنطقة المشروع, أبعاد العناصر الإنشائية, الحمولات المطبقة .
- معرفة الكود المستخدم في التصميم.
- أنواع المشاكل الهندسية التي تعرضت لها المنشآت القائمة وكيفية حل تلك المشاكل.وجميع أعمال هذه المرحلة هي اعمال مكتبية ، وقد تتطلب هذه المرحلة الحصول على معلومات مختلفة مثل:
  - المخططات والرفوعات المساحية للموقع.
  - خرائط جيولوجية لمعرفة طبقات التربة وعمق الطبقات الصخرية.
  - خرائط جوية لموقع المشروع والأماكن المجاورة.
  - بيانات هيدرولوجية : حركة المياه الأرضية وكمية مياه الأمطار .
  - أنظمة البناء المستخدمة في المنطقة والاشتراطات الخاصة بالموقع.
  - المشاكل الهندسية في منشآت المنطقة : تصدع المباني – هبوط الاساسات – تكهفات
  - شبكات الكهرباء والهاتف والمياه الحلوة والمالحة والسيول .
  - تقارير ميكانيك تربة لمشاريع سابقة مجاورة للمشروع

3-2 : مرحلة استطلاع الموقع

تتطلب هذه المرحلة قيام المهندس المختص بزيارات ميدانية لموقع المشروع والمناطق المجاورة له حيث يتم الاطلاع على :

- طبوغرافية الموقع.
- الحفريات التي تبين طبقات التربة.
- حالة المياه السطحية وتصريفها.
- مقارنة المعلومات التي تم جمعها مع ما يمكن وصفه اثناء الزيارة.

3-3 : مرحلة التحريات الأولية

تبدأ هذه المرحلة بتنفيذ عدد من الحفر الاستكشافية وحفر الاختبار, ويتعلق عدد الحفر وأعماقها بحجم وأهمية المشروع. يتم الحصول على عينات ترابية من الحفر الاستكشافية تحدد خواصها الهندسية من خلال تجارب مخبرية. أحيانا قد تكون هذه المرحلة كافية للبدء بأعمال الدراسة والتصميم.

4-3 : مرحلة التحريات التفصيلية

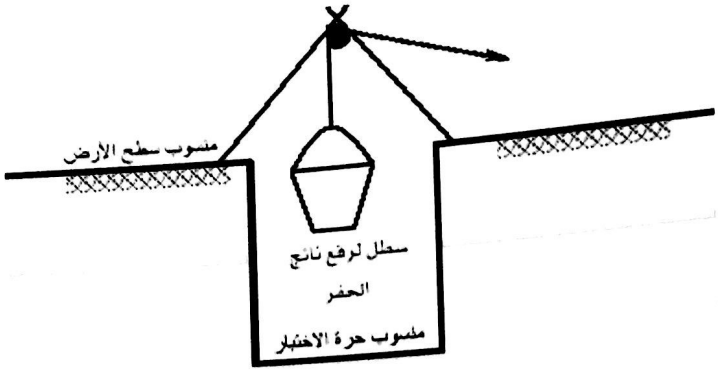
تتضمن هذه المرحلة تنفيذ العديد من الحفر الاستكشافية والسبور الدورانية, ويتم تحديد وتوزيع أماكن السبور وتحديد أعماقها. يتم في هذه المرحلة تنفيذ السبور والحصول على عينات ترابية من أعماق مختلفة من السبور.وتقسم العينات المأخوذة إلى نوعين : سليمة, مضطربة. وتجرى غلى العينات المأخوذة تجارب مخبرية. كما ويجب في كثير من الأحيان تنفيذ تجارب حقلية في الموقع.

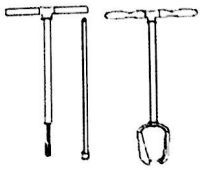
4 : طرق تنفيذ السبور

4-1: الطرق اليدوية

- تعتبر من ابسط وسائل تحريات التربة والأقل تكلفة.
- تنفذ حفرة الاختبار لعمق محدود بالأدوات التقليدية بشكل مربع, مستطيل, دائري.
- يمكن الحصول على عينات سليمة ومضطربة من قاع وجوانب الحفرة.
- الاجهزة اليدوية : المثاقب اليدوية, تربة ناعمة (غضار), أعمال الطرق والمنشآت الصغيرة, ألاماكن الضيقة, عمقها 3\5 م,

تجرى على العينات مضطربة التجارب التالية: تحليل حبي, حدود اتربرغ, وزن نوعي

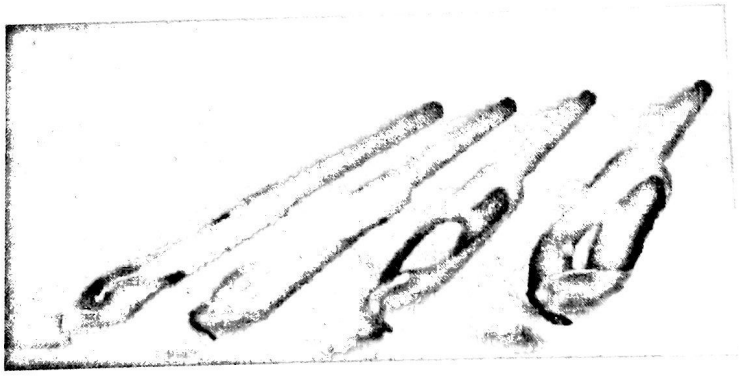


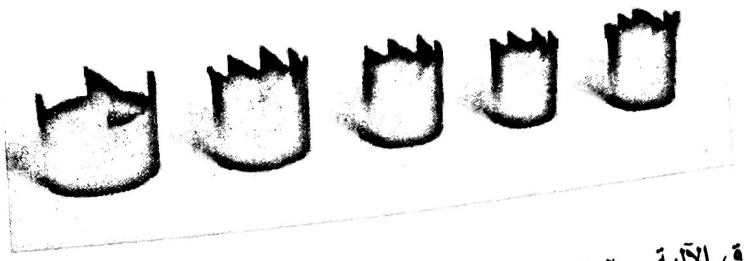


4-2: الطرق الآلية – الحفر الدوراني

يتم الحفر بالدوران وبسرعة عالية وقوة ضغط على الحفرة.

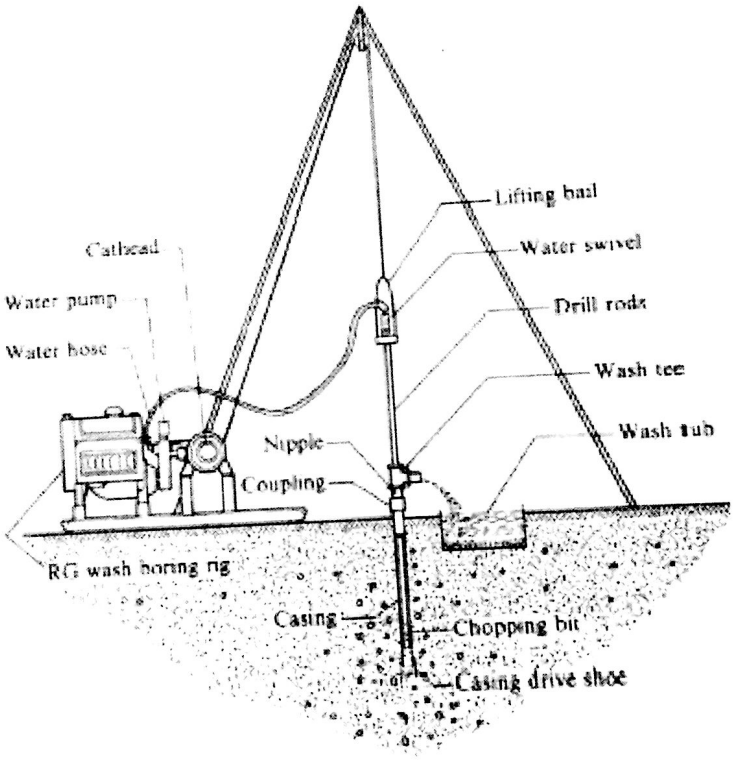
- يصاحب عملية الحفر ضخ الماء (أحيانا البنتونايت).
- تحتوي اسطوانة الحفر في نهايتها على رأس الحفر.
- قابلة للتطبيق على جميع أنواع الترب من خلال اختيار رأس الحفر المناسب.
- تمكن من استخراج عينات سليمة ومضطربة من أعماق مختلفة





4-3: الطرق الآلية – الحفر بالغسيل

تبدأ هذه الطريقة بدق قميص حماية داخل التربة بعمق 2 – 3.5 م لتثبيت الحفرة ومنع جدرانها من الانهيار. يزال ما بداخل قميص الحماية من تربة بواسطة ضغط الماء. يندفع فتات التربة مع الماء ويتجمع في الاعلى في حوض ترسيب بحيث يمكن فحص التربة والتعرف على طبقاتها. تناسب الترب المفككة الرملية والزلطية ولا تعطي إلا عينات مضطربة.



4-4: الطرق الآلية – الحفر بالدق

تناسب الترب الصلبة والصخور

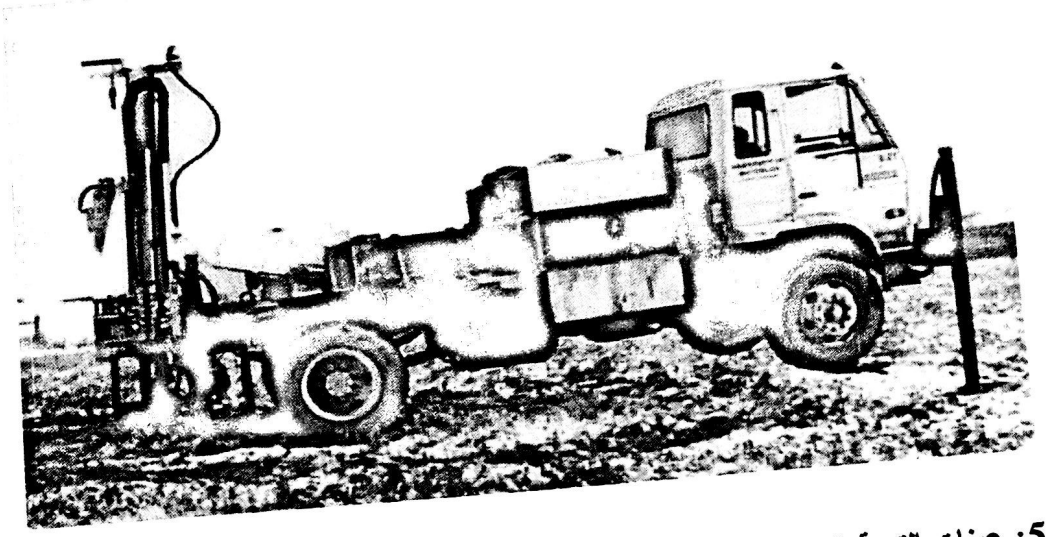
– يتم الحفر وتفتيت التربة عن طريق الدق المتكرر في أسفل البئر.

– يمرر الماء على التربة المتفتتة حتى يتم التخلص منها خارج الحفرة على دفعات.

– يتم التعرف على مكونات التربة عن طريق نواتج الحفر.

– تغير الطبقات يعرف عن طريق تغير صعوبة الحفر.

4-5: الطرق الآلية – الحفر بالحلزون



5: عينات التربة المستخرجة

5-1 : عينات مضطربة

– عينات تغيرت بنيتها أو خواصها خلال عملية استخراجها ونقلها.

– تفيد في تجارب التدرج الحبي وحدود اتربرغ والوزن النوعي.

– تحفظ في أكياس بلاستيكية يكتب عليها اسم المشروع, رقم السبر, عمق العينة, رقم العينة وتاريخ استخراجها.

5-2: عينات سليمة

– عينات حافظت على بنيتها وخواصها الأصلية.

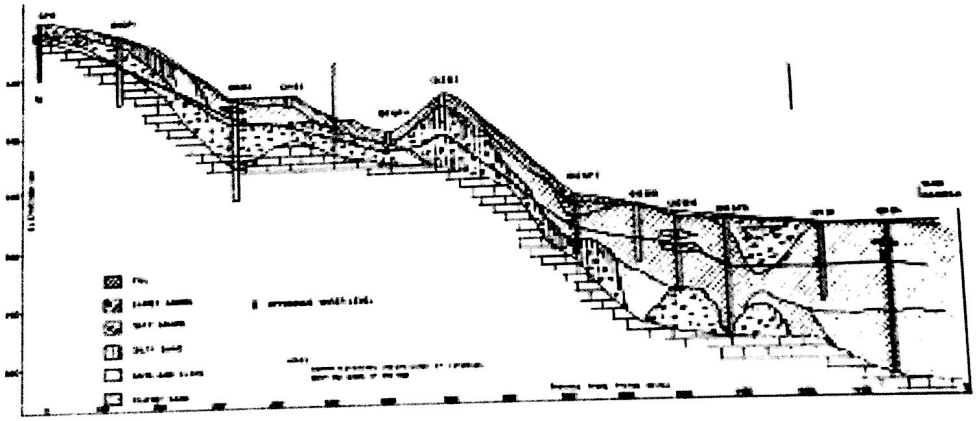
– تتطلب هذه العينات اتخاذ الإجراءات التالية:

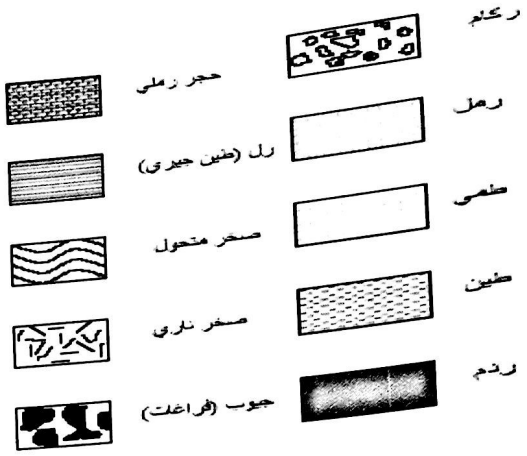
- تغليف العينة بالبارافين أو البلاستيك المناسب لحماية بنيتها والمحافظة على رطوبتها.
- كتابة بيانات كل عينة : اسم المشروع, رقم السبر, عمق العينة, رقم العينة ...
- ترتيب العينات في صندوق مخصص لحمايتها من أشعة الشمس والاهتزازات ...
- نقل العينة بسرعة وعناية الى مخبر ميكانيك التربة.

5-3: أهم التجارب الحقلية

- تجربة الاختراق النظامي
- تجربة الاختراق الستاتيكي
- تجارب التحميل
- تجربة القص الدوراني
- تجربة Pressiometre
- تجارب القص الحقلية
- تجارب النفاذية

5-4: المقاطع الجيوتكنيكية





RECORD OF BOREHOLE 107

5-5: تقرير استكشاف التربة

يجب أن يتضمن :

- العنوان الرئيسي للتقرير.
- محتويات التقرير.
- وصف عام للموقع بما في ذلك المشروع المقترح.
- الوضع الجيولوجي والهيدرولوجي للموقع.
- برنامج التحريات من حيث توزيع السبور والحفر الاستكشافية وعددها وأعماقها.
- وصف التربة وطبقاتها.
- وصف الطبقة الصخرية في حال تكشفها.
- منسوب المياه الجوفيه ونتائج تحليلها الكيميائي.
- نتائج الاختبارات المخبرية والحقلية.

6: تصنيف التربة وتسميتها

6-1- نظام التصنيف الموحد USC

(Unified Soil Classification System)

- يقسم التربة الى مجموعتين : التربة الخشنة – التربة الناعمة
- التربة الخشنة : المحجوزة على المنخل رقم 200 (قطر 0.074 مم)
- التربة الناعمة : المارة من المنخل رقم 200

6-2- نظام التصنيف :AASHTO

(American Association of Highway and transportation Officials)

- يصنف التربة الى سبع مجموعات رئيسية من A-1 الى A-7
- المجموعة A-1, والمجموعة A-7 تحتوي كل منها على مجموعتين فرعتين
- المجموعة A-2 تحتوي على أربع مجموعات فرعية
- يعتمد على نسبة المار من المناخل 10, 40, 200
- يعتمد على حدود اتربرغ
- يعرف قرينة المجموعة GI: Group Index

$$GI = (F-35)[0.2+0.005(LL-40)]+0.01(F-15)(PI-10)$$

F = نسبة المار من التربة على منخل رقم ٢٠٠

LL = حد السيولة

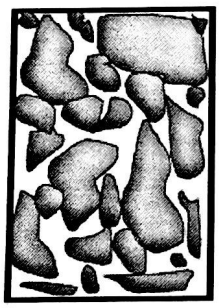
PI = معامل اللدونة

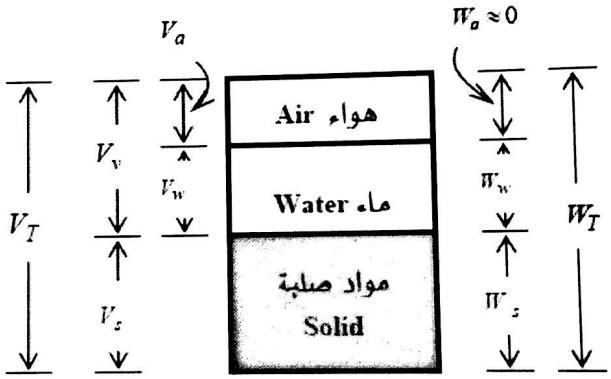
6-3: خواص وسلوكية التربة

6-3-1 : الخواص الفيزيائية للتربة

هناك عدة أطوار للتربة وهي :

- الطور الصلب
- الطور المائي
- الهواء





V_v = حجم الفراغات volume of voids

W_w = وزن الماء weight of water

V_w = حجم الماء في الفراغات volume of water

W_a = وزن الهواء air weight of

V_a = حجم الهواء في الفراغات volume of air

V_T = الحجم الكلي total volume

W_T = الوزن الكلي total weight

V_s = حجم المواد الصلبة volume of solids

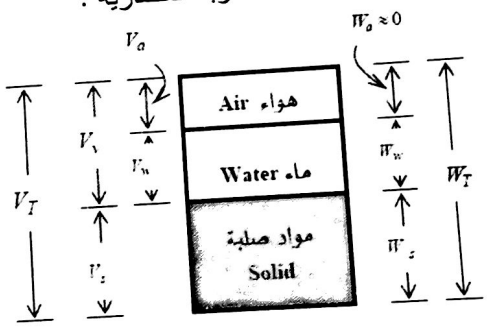
W_s = وزن المواد الصلبة weight of solids

$$W_T = W_s + W_w$$

$$V_T = V_s + V_v$$
$$= V_s + V_w + V_a$$

أولاً : الرطوبة

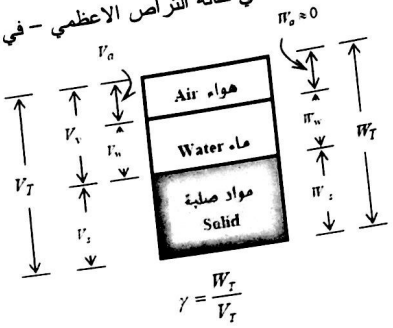
- نسبة وزن الماء إلى وزن الأجزاء الصلبة في عينة التربة.
- تحسب كنسبة مئوية.
- تؤثر بشكل كبير على الخواص الميكانيكية للأتربة الغضارية .



$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

ثانياً : الوزن الحجمي

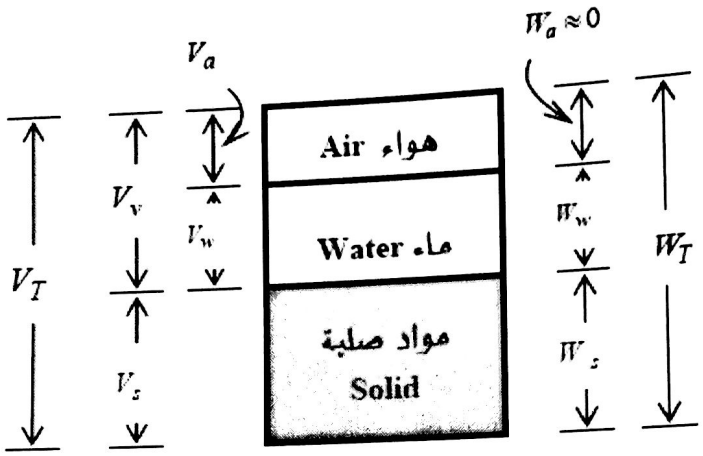
- وزن واحدة الحجم من التربة في الحالة المعطاة.
- العوامل المؤثرة على الوزن الحجمي التركيب المنيرالي – الرطوبة – المسامية
- يحدد الوزن الحجمي للتربة في الحالة الطبيعية.
- الترب الرملية المفككة : الطبيعي – في حالة التراص الاعظمي – في حالة التخلخل الاعظمي.



$$\gamma = \frac{W_T}{V_T}$$

ثالثاً : الوزن النوعي

- وزن الجزء الصلب على حجمه.
- العوامل المؤثرة على الوزن النوعي التركيب المنيرالي.

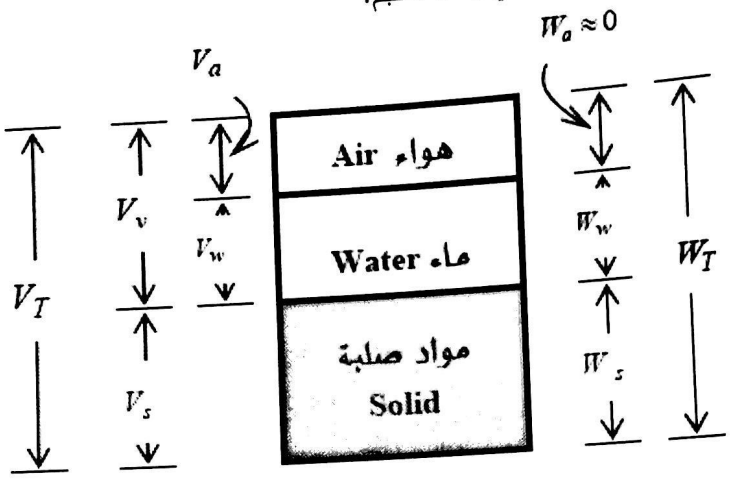


$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

نوع التربة	G_s
ركام Gravel	2.65-2.68
رمل Sand	2.65-2.68
طمي (غير عضوية) Silt (inorganic)	2.62-2.68
طين (عضوية) Clay (organic)	2.58-2.65
طين (غير عضوية) Clay (inorganic)	2.68-2.75

رابعاً : الوزن الحجمي الجاف (الوزن الحجمي لهيكل التربة)

وزن الجزء الصلب في التربة في وحدة الحجم.



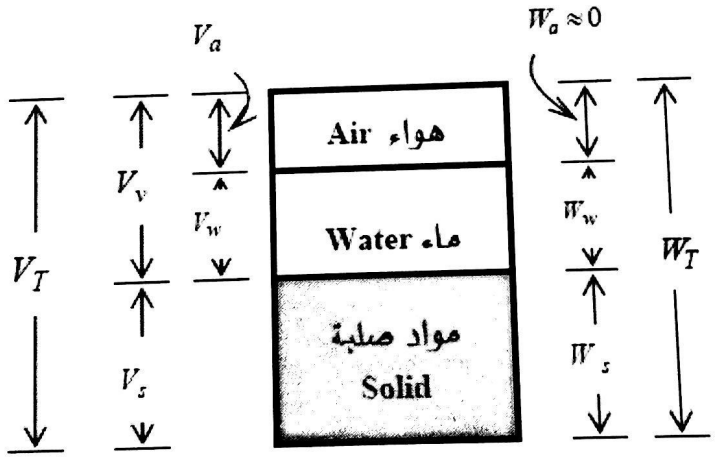
$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+W}$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_t}$$

خامساً : مسامية التربة

حجم المسامات في واحدة الحجم من التربة.

- تقاس بالنسبة المئوية.

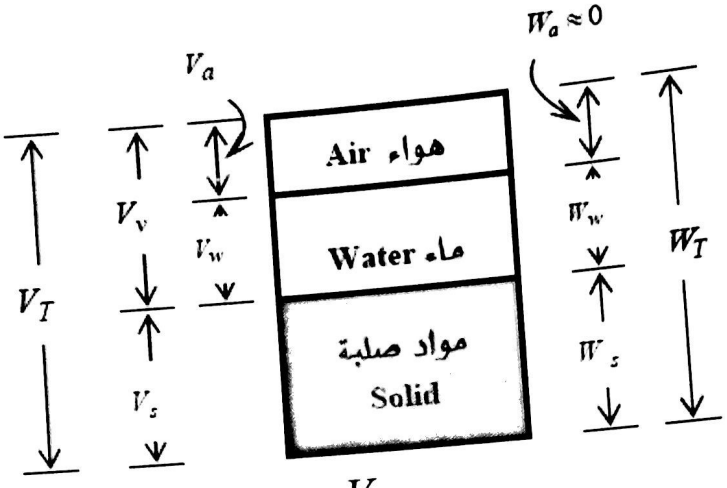


$$n = \frac{V_v}{V_t} \times 100\,\%$$

سادساً : نسبة الجزء الصلب في التربة

حجم الجزء الصلب في واحدة الحجم من التربة.

- تقاس بالنسبة المئوية.



$$m = \frac{V_s}{V_t} \times 100\,\%$$

نسبة الغاز (الهواء) في التربة

$$a = \frac{V_a}{V_v} \times 100 \quad \%$$

سابعاً : معامل المسامية

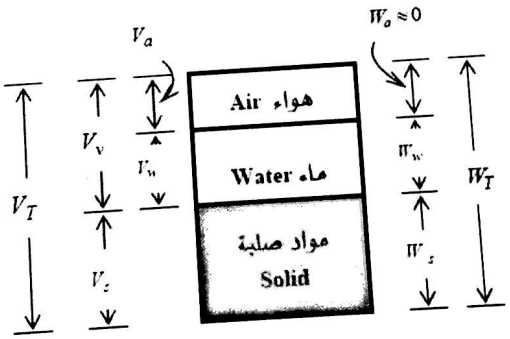
نسبة حجم المسامات الى حجم الجزء الصلب في

- يدل على درجة تراص التربة.
- يستخدم عند حساب هبوط الاساسات.

$$e = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_d}$$

$$n + m = \frac{V_v}{V_t} + \frac{V_s}{V_t} = 1$$

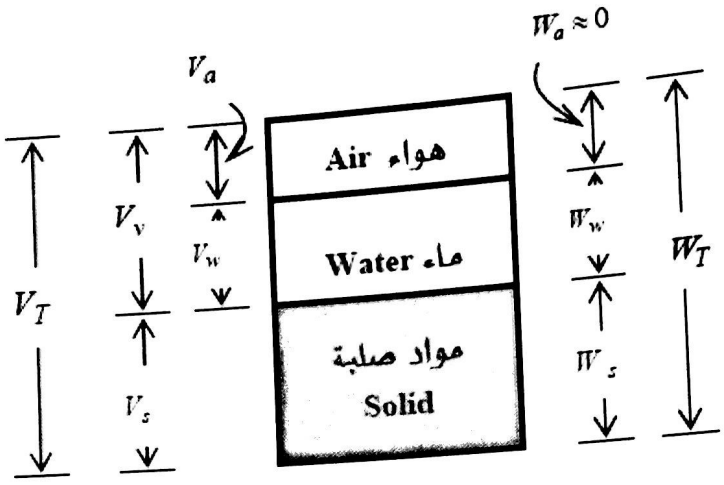
$$e = \frac{n}{m} = \frac{V_v}{V_s}$$



ثامناً : درجة الاشباع

نسبة حجم الماء في التربة الى حجم الفراغات فيها.

– تؤخذ بالنسبة المئوية



$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100\ \% \qquad S = \frac{W}{W_{sat}} \times 100\ \% \qquad W_{sat} = \frac{V_v \times \gamma_w}{W_s} \times 100\ \%$$

W_{sat} رطوبة الإشباع

2-3-6 :الخواص (القرائن) الفيزيائية المصنفة للتربة

أولاً :التركيب الحبي للتربة

الاحتواء الكمي للجزيئات الصلبة من مختلف الحجوم مأخوذاً بالنسبة المئوية.

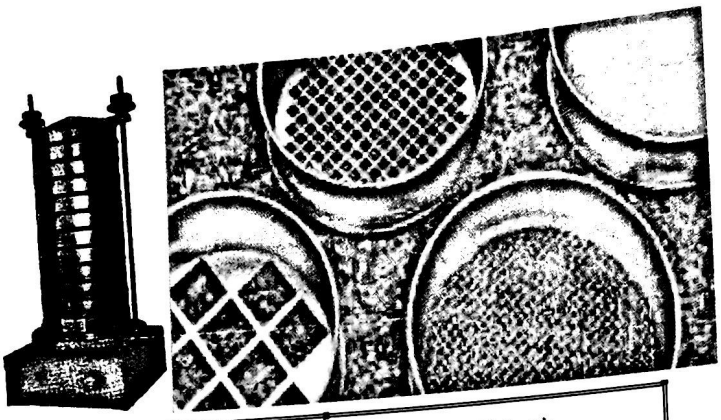
– التحليل المنخلي : الجزء الخشن.

– التحليل بواسطة الترسيب في الماء (الهايدرومتر) الجزء الناعم الأصغر من 0.074 مم.

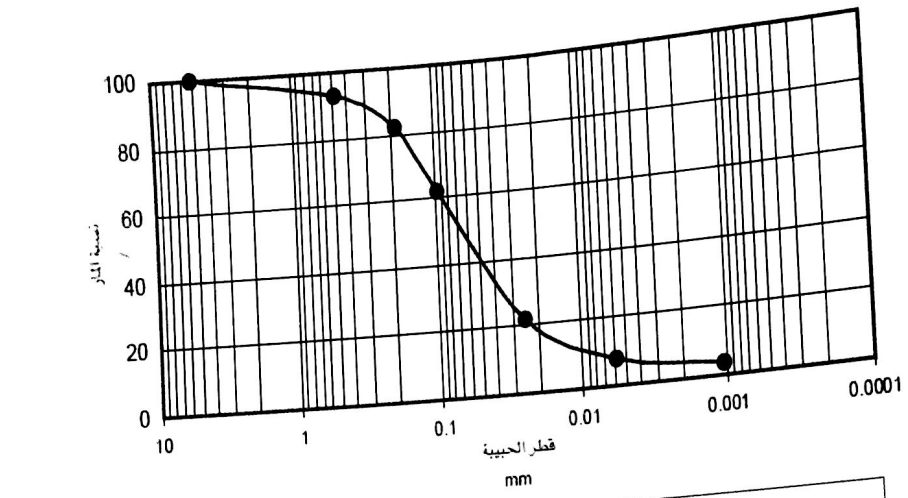
– نتيجة التحليلين تعطي منحني التدرج الحبي.

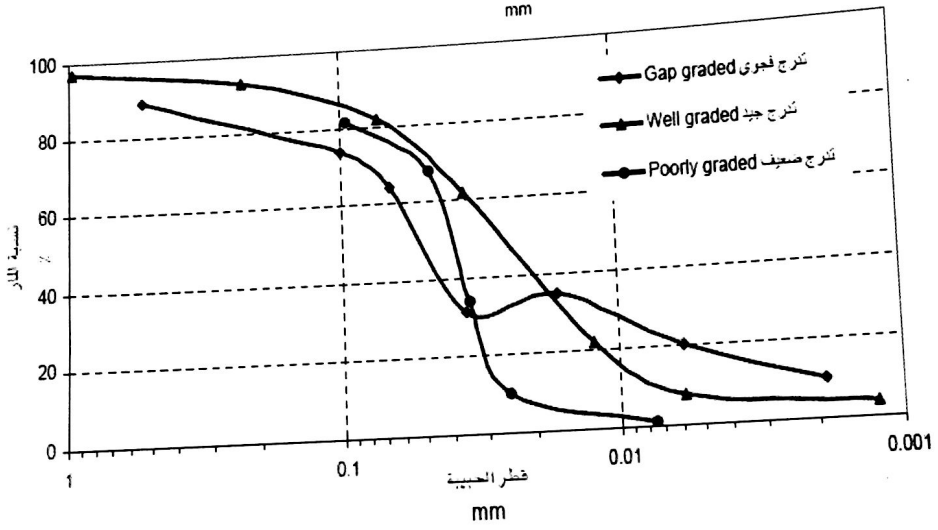
– معامل تجانس التركيب الحبي C_u

– معامل انحناء التركيب الحبي C_c



رقم المنخل SIEVE NO.	فتحة المنخل OPENING (MM)
4	4.750
10	2.000
20	0.850
40	0.425
60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
200	0.074





منحني التركيب الحبي للتربة

ثانياً: حدود اتربرغ

- تستخدم لتمييز قوام التربة وتصنيفها.

- تخص التربة المترابطة- رطوبات- حد السيولة LL - حد اللدونة PL- حد الانكماش W_{sh}- قرينة اللدونة PI=PL-LL- قرينة السيولة- LI =(W-PL)\PI .

7- تجارب:

7-1- تعيين التدرج الحبي للرمل:

الأدوات والمواد المستعملة:

-1- مجموعة مهزات نظامية مرتبة من الأعلى الأخشن إلى الأسفل الناعم وهي :

(2.5 - 1.25 - 0.63 - 0.3 - 0.14 - القاعدة mm)

-2- فرن تجفيف -3- ميزان -4- رمل

خطوات العمل:

- نجفف كمية من الرمل بحرارة 105-110 درجة مئوية ونزن (1Kg) من هذا الرمل ونحرره من المهزة رقم 2.5 ونزن المحجوز عليها gi بالغرامات ونعين نسبة الرمل المحجوز الجزئي بالنسبة المئوية على كل منها:

gi

1000 x

100

X=ai= (gi/1000)*100%

- ونحسب المحجوز الكلي على كل مهزة بالنسبة المئوية Ai 100%

Ai=a2.25+a1.25+a.....+ai

- نسجل النتائج في الجدول التالي:

رقم المهزة mm	المحجوز الجزئي وزناً gi gr	النسبة المئوية للمحجوز الجزئي ai%	النسبة المئوية للمحجوز الكلي Ai %
2.5	374	34.7	34.7
1.25	233	23.3	58
0.63	155	15.5	73.5
0.31	79	7.9	81.4
0.14	53	5.3	86.7
القاعدة	133	13.3	100

- نرسم المنحني الحبي للرمل المدروس ونقارنه مع مجال المنحني البياني للرمل النظامي

- نعين عامل خشونة الرمل Nk من العلاقة:

Nk=(A2.5+A1.25+.....+A0.14)/100

إذا كان :

Nk> 2.5 (رمل خشن)

2.5 > Nk> 2 (رمل متوسط الخشونة)

Nk< 2 (رمل ناعم)

2-7- تعيين التدرج الحبي للبحص:

الأدوات والمواد المستعملة:

-1- مجموعة مهزات نظامية مرتبة من الأعلى الأخشن إلى الأسفل الناعم وهي :

(40 - 20- 10- 5- 3- القاعدة - mm)

-2- فرن تجفيف -3- ميزان -4- بحص

خطوات العمل:

- نجفف كمية من البحص بحرارة 105-110 درجة مئوية ونزن (4 Kg) من هذا البحص ونمرره من المهزة رقم 40 ونزن المحجوز عليها gi بالغرامات ونعين نسبة البحص المحجوز الجزئي بالنسبة المئوية على كل منها:

gi	1000
x	100

X=ai= (gi/1000)*100%

- ونحسب المحجوز الكلي على كل مهزة بالنسبة المئوية Ai 100%

Ai=a2.25+a1.25+a.....+ai

- نسجل النتائج في الجدول التالي:

رقم المهزة mm	المحجوز الجزئي وزناً gi gr	النسبة المئوية للمحجوز الجزئي ai%	النسبة المئوية للمحجوز الكلي Ai %
40	0	0	0
20	254	6.35	6.35
10	3390	84.75	91.1
5	332	8.3	99.4
3	19	0.475	99.875
القاعدة	5.5	0.1375	100.0125

- نرسم المنحني الحبي للبحص المدروس ونقارنه مع مجال المنحني البياني للبحص النظامي.